

TUGAS AKHIR

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN
MAGNESIUM (Mg) DALAM PROSES
PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP
KEKUATAN DAN KEKAKUAN PUNTIR**



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun Oleh:

GIGIH NUGROHO JATI

NIM: D200130004

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**“PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM
PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP KEKUATAN
DAN KEKAKUAN PUNTIR”**

yang dibuat untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh derajat sarjana S1 pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan/atau pernah dipakai untuk memperoleh gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya saya cantumkan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 20 Juni 2019

Yang menyatakan



Gigih Nugroho Jati

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir berjudul “Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) Dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular Terhadap Kekuatan dan Kekakuan Puntir” telah disetujui oleh pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh:

Nama : **Gigih Nugroho Jati**

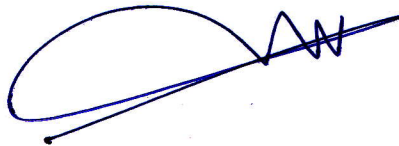
Nim : **D200130004**

Disetujui pada:

Hari : **Senin**

Tanggal : **8 Juli 2019**

Pembimbing Tugas Akhir

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by a series of sharp, overlapping strokes.

(Agung Setyo Darmawan, ST. MT)

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir berjudul “Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) Dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular Terhadap Kekuatan dan Kekakuan Puntir” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan telah dinyatakan sah untuk memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh:

Nama : **Gigih Nugroho Jati**

Nim : **D200130004**

Disetujui pada:

Hari : **Rabu**

Tanggal : **10 Juli 2019**

Tim Penguji :

Ketua : **Agung Setyo Darmawan, ST. MT**

Anggota 1 : **Ir. Sunardi Wiyono, MT**

Anggota 2 : **Muh. Alfatih Hendrawan, ST. MT**

(.....)
(.....)
(.....)

Mengetahui

Dekan

Ketua Jurusan



(Ir. H. Sri Sunarjono, MT., Ph.D)

(Ir. H. Subroto, MT)



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
Jl.A.Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Telp (0271) 717417 ps 222

LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR

Berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nomor 023/II/2019 tanggal 13 Februari 2019 tentang Pembimbing Tugas Akhir dengan ini:

Nama : Agung Setyo Darmawan, ST. MT

Pangkat / Jabatan : Lektor/IIIC

Sebagai Pembimbing Tugas Akhir memberikan soal tugas akhir kepada mahasiswa :

Nama : Gigih Nugroho Jati

No Induk : D200130004

Jurusan/Semester : Teknik Mesin/Akhir

Judul/Topik : PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP KEKUATAN DAN KEKAKUAN PUNTIR

Rincian Soal/Tugas : mengetahui pengaruh variasi kandungan magnesium pada proses pembuatan besi cor nodular, melakukan pengujian komposisi, melihat struktur mikro besi cor nodular, dan melakukan pengujian puntir terhadap besi cor nodular.

Demikian soal tugas akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 18 Februari 2019

Pembimbing

Agung Setyo Darmawan, ST. MT

Keterangan :

Dibuat Rangkap Tiga (3)

- 1. Untuk KAJUR (Koordinator TA)*
- 2. Untuk Pembimbing Tugas Akhir*
- 3. Untuk Mahasiswa*

HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”
(QS. Ar- Rad:11)

“Sebaik-baiknya anugerah adalah akal, dan seburuk-buruknya musibah adalah kebodohan”
(KH. Muhammad Hasyim Asa’ri)

"Hiduplah seperti pohon kayu yang lebat buahnya, hidup di tepi jalan dan dilempari orang dengan batu, tetapi dibalas dengan buah"
(Abu Bakar Sibli)

HALAMAN PERSEMBAHAN



Allhamdulillahirobil'amin, Allahumma Shollialla Sayidina Muhammad Waalaali Sayidina Muhammad. Sujud syukur kusembahkan kepada-Mu ya Allah SWT, atas takdir-Mu saya bisa menjadi pribadi yang berpikir, berilmu, beriman dan bersabar. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal untuk masa depan dalam meraih cita-cita. Dengan kerendahan hati dan bangga, penulis mempersembahkan karya ini untuk:

“Bapak dan Ibu Tercinta”

Kepada Bapak Suprat dan Ibu Yudi Sri Rustanti tercinta. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tak terhingga, aku persembahkan karya sederhana ini sebagai rasa bahagia serta terima kasihku atas segala nasehat, doa yang tiada henti, dukungan yang nyata serta cinta kasih tiada terhingga yang selama ini Bapak dan Ibu berikan kepada anakmu ini. Semoga dengan karya sederhana ini menjadi langkah awal untuk membuat Bapak dan Ibu bahagia.

**PENGARUH VARIASI KANDUNGAN MAGNESIUM (Mg) DALAM
PROSES PEMBUATAN BESI COR NODULAR TERHADAP
KEKUATAN DAN KEKAKUAN PUNTIR**

ABSTRAK

Besi cor nodular adalah salah satu jenis dari besi tuang yang grafitnya berbentuk bulat. Magnesium (Mg) merupakan unsur yang paling sering digunakan di dunia industri pengecoran sebagai bahan pembulat grafit karena lebih menguntungkan dibandingkan unsur lain.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan magnesium (Mg) besi cor nodular terhadap struktur mikro, kekuatan dan kekakuan puntir besi cor. Penelitian ini menggunakan FCD sebagai bahan awal yang kemudian dilebur di dalam tungku pelebur. Proses pembentukan besi cor bergrafit bulat dilakukan dengan sistem ladle terbuka. Variasi penambahan FeSiMg sebesar 50 gram, 100 gram, 150 gram, dan 200 gram yang diletakkan di dasar ladle berkapasitas 15 kg sesaat sebelum besi cair dituangkan dalam ladle.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin meningkatnya prosentase magnesium (Mg) menghasilkan butiran grafit yang cenderung mengecil dan seragam, serta terjadi peningkatan area perlit dan berkurangnya area ferit, sehingga pada pengujian puntir, nilai kekuatan (Kekuatan Luluh Puntir dan Modulus Pecah) serta nilai kekakuan (Modulus Elastisitas Geser) mengalami peningkatan. Nilai terbesar dari Kekuatan Luluh Puntir, Modulus Pecah, dan nilai kekakuan Modulus Elastisitas Geser terjadi pada spesimen 5 (0,0351% Mg) dan nilai terkecil pada spesimen 1 raw material FCD (0,0296% Mg).

Kata Kunci : pengecoran, besi cor nodular, pengujian puntir.

THE EFFECT OF MAGNESIUM (Mg) CONTENT VARIATION IN THE PROCESS OF MAKING NODULAR CAST IRON TO TORSIONAL STRENGTH AND STIFFNESS

ABSTRACT

Nodular cast iron is one type of cast iron whose graphite is round. Magnesium (Mg) is the material most often used by the casting industry as a graphite forming material because it is more profitable than other materials.

This study aims to determine the effect of magnesium (Mg) content in nodular cast iron to microstructure, torsional strength and stiffness of cast iron. The study was used FCD as the starting material which was then smelted in the melting furnace. The process of forming round graphite cast iron is carried out by using an open ladle system. Variations of 50 grams, 100 grams, 150 grams and 200 grams of FeSiMg was placed under a 15 kg capacity ladle just before the molten iron is poured into the ladle.

The results showed that the increasing percentage of magnesium (Mg) produced the graphite granules tended to be smaller and uniform, and increased in pearlite area and reduced ferrite area, so that in torsional testing, strength values (Torsional Yield Strength and Modulus of Rupture) and stiffness value (Modulus of Shear Elasticity) have increased. The largest value of Torsional Yield Strength, Modulus of Rupture, and stiffness value from Modulus of Shear Elasticity occur in specimen 5 (0.0351% Mg) and the smallest value in specimen 1 raw material FCD (0.0296% Mg).

Keywords: casting, nodular cast iron, torsional testing.

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah, penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan nikmat-Nya sehingga penyusunan laporan penelitian ini dapat terselesaikan.

Tugas akhir berjudul “Pengaruh Variasi Kandungan Magnesium (Mg) Dalam Proses Pembuatan Besi Cor Nodular Terhadap Kekuatan dan Kekakuan Puntir” dapat terselesaikan atas dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini saya selaku penulis dengan segala hormat dan ketulusan hati ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. H. Sri Sunarjono, MT., Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
2. Bapak Ir. H. Subroto, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. Sunardi Wiyono, MT selaku Sekretaris dan Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang membantu dalam proses administrasi selama masa perkuliahan.
4. Bapak Ir. Sartono Putro, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingannya selama masa perkuliahan.
5. Bapak Agung Setyo Darmawan, ST. MT selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi petunjuk dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik khususnya Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tua yang senantiasa selalu memberikan dukungan dan doa sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.

8. Teman-teman Teknik Mesin UMS angkatan 2013 yang banyak memberikan motivasi dan semangat bagi penulis.
9. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terima kasih atas dukungannya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran bersifat membangun dari pembaca akan penulis terima dengan senang hati dan penulis ucapkan banyak terima kasih. Semoga semua amal baik yang diberikan semua pihak kepada penulis akan mendapat balasan yang lebih baik dan sempurna dari Allah SWT.

Wasalammu'alaikum Wr. Wb.

Surakarta, 20 Juni 2019

Gigih Nugroho Jati

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR SOAL TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR SIMBOL.....	xix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Besi Cor.....	8
2.2.2 Pengelompokan Besi Cor Berdasarkan Struktur Mikro.....	10
2.2.2.1 Besi Cor Putih (<i>White Cast Iron</i>)	11

2.2.2.2	Besi Cor Mampu Tempa (<i>Malleable Cast Iron</i>)	11
2.2.2.3	Besi Cor Kelabu (<i>Grey Cast Iron</i>).....	12
2.2.2.4	Besi Cor Nodular (<i>Ferro Casting Ductile</i>).....	13
2.2.2.5	Besi Cor Grafit Terpadatkan (<i>Compacted Graphite Iron</i>).....	13
2.2.3	Paduan Besi Cor.....	15
2.2.4	Proses Pengecoran.....	17
2.2.5	Proses Pengecoran Besi Cor Nodular	18
2.2.6	Unsur Paduan Besi Cor Nodular	18
2.2.7	Cacat Pada Coran	19
2.2.7.1	Cacat Porositas	19
2.2.7.2	Cacat Penyusutan (<i>Shrinkage Defects</i>).....	19
2.2.7.3	Cacat Salah Aliran	20
2.2.7.4	Cacat Permukaan Kasar	21
2.2.7.5	Cacat Retakan	23
2.2.8	Sifat Fisik dan Mekanik	24
2.2.8.1	Sifat Fisik.....	24
2.2.8.1.1	Komposisi Kimia	23
2.2.8.1.2	Struktur Mikro.....	25
2.2.8.2	Sifat Mekanik	25
2.2.8.2.1	Uji Puntir.....	26
2.2.8.2.2	Menghitung Nilai Kekuatan dan Kekakuan Puntir.....	26

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2	Studi Pustaka dan Lapangan.....	36
3.3	Persiapan Alat dan Bahan Pembuatan Besi Cor Nodular.....	36
3.3.1	Alat.....	37
3.3.2	Bahan.....	39
3.4	Proses Pembuatan Besi Cor Nodular.....	40

3.5	Pembuatan Spesimen Pengujian	41
3.5.1	Persiapan Alat dan Bahan Preparasi Spesimen Pengujian ...	41
3.5.2	Proses Pembuatan Spesimen Uji	45
3.6	Instalasi Pengujian	47
3.6.1	Alat Uji Komposisi Kimia	47
3.6.2	Alat Uji Struktur Mikro	48
3.6.3	Alat Uji Puntir	49

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian Komposisi Kimia	51
4.2	Pengujian Struktur Mikro	52
4.3	Pengujian Puntir	55
4.3.1	Pembuatan Kurva Momen Puntir Terhadap Sudut Puntir Per Satuan Panjang (0,0296% Mg)	55
4.3.2	Penentuan Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield})	58
4.3.3	Pembuatan Kurva Tegangan Geser dan Regangan Geser Pada Daerah Elastis	61
4.3.4	Pembuatan Kurva Tegangan Geser dan Regangan Geser Pada Daerah Plastis	63
4.3.5	Penentuan Modulus Pecah (<i>Modulus of Rupture</i>)	66
4.3.6	Penentuan Modulus Elastisitas Geser (G)	67
4.4	Pembahasan Hasil Pengujian Puntir	69

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	70
5.2	Saran	70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fasa Besi-Besi Karbida	9
Gambar 2.2	Diagram Keseimbangan Fasa Besi-Karbon	10
Gambar 2.3	Struktur Mikro Besi Cor Putih	11
Gambar 2.4	Struktur Mikro Besi Cor Mampu Tempa	12
Gambar 2.5	Struktur Besi Cor Kelabu	12
Gambar 2.6	Struktur Mikro Besi Cor Nodular	13
Gambar 2.7	Struktur Mikro Besi Cor Grafit Terpadatkan	14
Gambar 2.8	Skema Aliran Pengecoran	17
Gambar 2.9	Skema Proses Pembuatan Besi Cor Nodular	18
Gambar 2.10	Cacat Porositas Pada Penampang Potong Produk Cor.....	19
Gambar 2.11	Bentuk Cacat <i>Shrinkage</i>	20
Gambar 2.12	Cacat Salah Alir	21
Gambar 2.13	Cacat Retakan.....	23
Gambar 2.14	Proses Pengamatan Pada Struktur Mikro.....	25
Gambar 2.15	Grafik Momen Puntir (Nm) Terhadap Sudut Puntir (Rad)	27
Gambar 2.16	Grafik Momen Puntir Terhadap Sudut Puntir Per Satuan Panjang.....	28
Gambar 2.17	Grafik Penentuan Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield}) dengan Metode Offset 0,04 Rad/m.....	29
Gambar 2.18	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Elastis.....	31
Gambar 2.19	Grafik Momen Puntir Terhadap Sudut Puntir Per Satuan Panjang Untuk Menentukan Daerah Plastis.....	32
Gambar 2.20	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Plastis	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.	35
Gambar 3.2	Tungku Pelebur	37
Gambar 3.3	Ladel.....	37
Gambar 3.4	Proses Pembuatan Cetakan	38
Gambar 3.5	Timbangan.....	38

Gambar 3.6	Thermometer	39
Gambar 3.7	<i>Ferro Casting Ductile (FCD)</i>	39
Gambar 3.8	Paduan FeSiMg	40
Gambar 3.9	Proses Pembongkaran Cetakan Hasil Pengecoran	41
Gambar 3.10	Spesimen Hasil Pengecoran	42
Gambar 3.11	Gerinda Potong	42
Gambar 3.12	Mesin Milling.....	43
Gambar 3.13	Mesin Bubut	43
Gambar 3.14	Mesin Amplas dan Kertas Amplas.....	44
Gambar 3.15	Autosol.	44
Gambar 3.16	Larutan Etsa	45
Gambar 3.17	Hair Dryer	45
Gambar 3.18	Dimensi Spesimen Uji Puntir.....	47
Gambar 3.19	Dimensi Diameter Luar Spesimen Uji Puntir	47
Gambar 3.20	Alat Uji <i>Spektrometer</i>	48
Gambar 3.21	<i>Metallurgical Microscop With Inverted (Olympus PME)</i>	48
Gambar 3.22	Torsee (<i>Torsion Testing Machine</i>)	49
Gambar 4.1	Hasil Foto Struktur Mikro Besi Cor Nodular.....	53
Gambar 4.2	Grafik Momen Puntir terhadap Sudut Puntir Pada Spesimen 1 (0,0296% Mg)	56
Gambar 4.3	Grafik Momen Puntir terhadap Sudut Puntir Per Satuan Panjang Pada Spesimen 1 (0,0296% Mg)	57
Gambar 4.4	Grafik Momen Puntir terhadap Sudut Puntir Per Satuan Panjang Seluruh Spesimen	58
Gambar 4.5	Penentuan Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield}) dengan Metode Offset 0,04 Rad/m Pada Spesimen 1 (0,0296% Mg)	59
Gambar 4.6	Histogram Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield}) Seluruh Spesimen	60
Gambar 4.7	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Elastis Pada Spesimen 1 (0,0296% Mg).....	62
Gambar 4.8	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Elastis Seluruh Spesimen.....	63

Gambar 4.9	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Plastis Pada Spesimen 1 (0,0296% Mg).....	64
Gambar 4.10	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Plastis Seluruh Spesimen.....	65
Gambar 4.11	Grafik Tegangan Geser dan Regangan Geser Daerah Elastis dan Plastis Seluruh Spesimen.....	65
Gambar 4.12	Histogram Modulus Pecah Seluruh Spesimen	67
Gambar 4.13	Histogram Modulus Elastisitas Geser Seluruh Spesimen	68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Pada Proses Pengecoran	7
Tabel 2.2	Bentuk Cacat Permukaan Kasar dan Penyebabnya	21
Tabel 4.1	Hasil Uji Komposisi	51
Tabel 4.2	Sudut Puntir (θ) dan Momen Puntir (M_T).....	55
Tabel 4.3	Sudut Puntir per Satuan Panjang (θ') dan Momen Puntir (M_T)	57
Tabel 4.4	Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield}).....	59
Tabel 4.5	Kekuatan Luluh Puntir (τ_{yield}) Seluruh Spesimen.....	60
Tabel 4.6	Daerah Elastis dan Daerah Plastis	61
Tabel 4.7	Tegangan Geser dan Regangan Geser Pada Daerah Elastis	62
Tabel 4.8	Tegangan Geser dan Regangan Geser Pada Daerah Plastis	63
Tabel 4.9	Modulus Pecah (τ_u) Seluruh Spesimen	66
Tabel 4.10	Modulus Elastisitas Geser Seluruh Spesimen	68

DAFTAR SIMBOL

θ	=	Sudut Puntir (Rad)
M_T	=	Momen Puntir (Nm)
θ'	=	Sudut Puntir Per Satuan Panjang (Rad/m)
L	=	Panjang Spesimen (m)
τ_{yield}	=	Kekuatan Luluh Puntir (MPa)
r	=	Jari-jari Spesimen (m)
J	=	Momen Inersia (m ⁴)
π	=	Pi (3,14)
D	=	Diameter Spesimen (m)
τ	=	Tegangan Geser (MPa)
γ	=	Regangan Geser (Rad)
τ_a	=	Tegangan Geser Plastis (MPa)
BC	=	Momen Puntir BC (Nm)
CD	=	Momen Puntir CD (Nm)
τ_u	=	Modulus Pecah (MPa)
M_{max}	=	Momen Puntir Maksimum (Nm)
G	=	Modulus Elastisitas Geser (MPa/Rad)